

Evaluación de la calidad de agua en zona central de Córdoba para aplicación de herbicidas.

Mateos, Gonzalo Nicolás

Torres, Genaro Ezequiel

Viano, Mauro Javier

Tutor: Ing. Agr. Juan J. Godoy

AREA DE CONSOLIDACIÓN
SISTEMA AGRÍCOLAS DE PRODUCCIÓN EXTENSIVOS

2019

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución – No Comercial – Sin Obra Derivada 4.0 Internacional.

Resumen

El agua es el principal producto utilizado para las aplicaciones de fitosanitarios. Su mala calidad puede disminuir la eficiencia de los productos químicos, lo que conduce a incrementar las frecuencias de aplicación o las dosis. Los objetivos del presente trabajo fueron evaluar cuál es el grado de conocimiento en la zona del efecto que tiene el agua para lograr una aplicación eficiente, clasificar las variables que definen la calidad de agua y estimar efectos sobre los principales herbicidas utilizados. La zona de estudio abarca el área rural circundante a las ciudades de Oncativo y Colonia Almada, provincia de Córdoba, en donde se seleccionaron 21 establecimientos productivos y se realizó una encuesta y recolección de agua. En cada muestra se determinó a laboratorio pH, conductividad eléctrica, alcalinidad total, y dureza total. Se observó que en la zona se tiene conocimiento que el agua como medio de dispersión puede afectar el resultado de control fitosanitario, sin embargo no se conoce en detalle o con certeza las variables que lo afectan. En base al análisis de las muestras de agua se concluyó que todas las aguas estuvieron por debajo de los umbrales óptimos para la aplicación de productos fitosanitarios, lo que indica la necesidad de realizar correcciones previas a la aplicación de productos fitosanitarios en general.

Palabras claves: agua, fitosanitarios, herbicidas, dureza, pH, calidad, aplicaciones, conductividad eléctrica.

Contenido

| | |
|----------------------------------------------------|----|
| Introducción..... | 4 |
| Objetivos..... | 10 |
| Materiales y Métodos..... | 11 |
| Resultados y Discusión..... | 17 |
| Conocimiento y control de problemática..... | 17 |
| Determinación de las características del agua..... | 18 |
| Relación herbicida – agua..... | 22 |
| Relación entre variables..... | 24 |
| Conclusión..... | 28 |
| Bibliografía..... | 30 |
| Anexo | 31 |

Introducción

Con la generalización de la siembra directa y el uso frecuente de herbicidas, las pulverizaciones se han transformado en un instrumento de uso permanente en los establecimientos (Arrospide, 2004). El manejo de adversidades en los cultivos extensivos se efectúa casi de forma exclusiva con la aplicación de productos fitosanitarios. El buen desempeño de éstos va a depender de varios factores (Galland & Burzaco, 2016). En términos generales podemos resumirlas en: calidad de agua, composición del agroquímico en cuanto a sus activos y aditivos, condiciones climáticas imperantes, características y estado de desarrollo de la plaga/enfermedad o maleza que se pretende controlar, características y condición de los equipos de aplicación (Arrospide, 2004).

El agua es el principal producto utilizado para las aplicaciones de fitosanitarios. De hecho, usualmente constituye entre el 90 % y el 99 % del asperjado (Puricelli & March, 2014). Para preservar la integridad de los fitosanitarios resulta importante promover un medio estable que no desintegre estructuralmente los principios activos, evitar que estos queden retenidos por las cargas de las partículas disueltas en el medio dispersante, y/o que ciertas reacciones químicas los inactiven (Leiva, 2010).

El desconocimiento del tipo de agua que se está utilizando y de sus consecuencias constituyen una gran problemática a la hora de aplicar fitosanitarios. La mala calidad del agua puede disminuir la eficiencia de los productos fitosanitarios, lo que conduce a incrementar las frecuencias de aplicación o las dosis (Carrasco-Letelier et al., 2015).

En términos de calidad de agua para aplicaciones, se reconocen tres variables que pueden afectar de forma importante la actividad de muchos productos, estas son: **1- pH – Acidez/Alcalinidad. 2- Minerales disueltos en el agua. 3- Partículas suspendidas en el agua** (Arrospide, 2004).

1. pH – Acidez/Alcalinidad

El pH es una escala logarítmica de 1 a 14. Un pH de 7 es neutro, menor de 7 ácido y mayor de 7 es básico o alcalino. Es importante comprender que al ser una escala logarítmica un pH de 6, es 10 veces más ácido que un pH de 7. En consecuencia, la sensibilidad del

producto fitosanitario al pH del agua aumentará en un factor 10 por cada unidad de pH (Puricelli & March, 2014).

El pH de la solución tiene que ver con dos aspectos relacionados; uno la estabilidad y vida media del pesticida, mientras que el otro involucra la performance herbicida que está relacionada con la penetración del herbicida (Rodríguez, 2005).

Cada producto es estable dentro de un rango de pH más o menos definido, fuera de ese rango comienza un proceso denominado hidrólisis o sea la desintegración del producto con la pérdida de actividad correspondiente (Arrospide, 2004). Este proceso es dependiente del pH del agua, características químicas de productos fitosanitarios, tiempo en que el producto fitosanitario permanece en el caldo, temperatura del agua del caldo. Más frecuente es el llamado hidrólisis alcalina, en el cual un pH mayor de 7 produce que algunos productos fitosanitarios se degraden en el caldo, lo que se denomina pérdida de estabilidad. Esta se determina a través de la vida media en un determinado pH. La vida media es el tiempo requerido para que se degrade el 50% del ingrediente activo (i.a.). (Puricelli & March, 2014).

La mayoría de los productos son estables en un rango de pH 4 – 6, es decir ligeramente ácido, sin embargo, existen algunas excepciones (Tabla 1). Se puede establecer algunas reglas generales una vez conocido el pH del agua de aplicación. Un pH entre 3,5 y 6 se considera satisfactorio para la mayoría de las aplicaciones, excepto en productos sensibles a la acidez. El agua con pH en el rango 6,1 – 7,0 puede utilizarse siempre que no se tenga el producto en el tanque por más de una hora. En aguas con pH 7 o superior es aconsejable agregar un buffer o un acidificante (Arrospide, 2004).

Tabla 1. pH óptimo para lograr mayor vida media de algunos herbicidas.

| Principio activo | pH óptimo |
|------------------|-----------|
| Alaclor | 5 |
| Atrazina | 4-6 |
| Dicamba | 5 |
| Glifosato | 4-5 |

Muchas aguas subterráneas de la región semiárida pampeana contienen relativamente altos niveles de iones bicarbonatos en asociación generalmente con iones de sodio (Rodríguez, 2005). La fuente mayoritaria de bicarbonato en un agua natural es el proveniente del lavado de rocas calizas que hace que parte del carbonato que contienen pase al agua, aumentando de forma natural el pH de estas, ya que hidroliza parcialmente al agua dando OH^- ($\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$), lo que lo convierte en una base moderadamente fuerte (Antonio J. Mota Ávila, 2009).

Cuando el agua recibe OH^- de otra fuente, como ser minerales, este equilibrio se desplaza hacia la derecha, consumiendo iones H^+ y generando un exceso de OH^- , lo que determina la alcalinidad del agua. Cuanto más iones OH^- haya presentes (mayor alcalinidad), más rápida será la hidrólisis, por lo tanto el tiempo de exposición es crítico en un caldo alcalino. El pulverizado al inicio de la pulverización puede ser más eficaz que al terminar la aplicación (Puricelli & March, 2014).

Los carbonatos y bicarbonatos presentes en cuerpos naturales de agua dulce se originan generalmente del desgaste y disolución de rocas en la cuenca que contienen carbonatos tales como la piedra caliza. A pesar de que la piedra caliza no es muy soluble en agua pura, su disolución es promovida por la presencia de CO_2 disuelto en el agua (CO_2 atmosférico o CO_2 generado en sedimentos ricos en materia orgánica). El CO_2 reacciona con el agua para generar pequeñas cantidades de ácido carbónico, el cual disuelve las rocas de carbonato en la cuenca, que contribuye a la alcalinidad del agua. Los Rangos de alcalinidad medido en mg/l de CaCO_3 son los siguientes: Baja < 75; media 75 – 150; y alta > 150 (Espinoza Paz & Rodriguez, 2016).

2. Minerales disueltos en el agua o Sales en Solución

Muchos elementos pueden estar disueltos en el agua pero hay seis principales iones que aparecen en la mayoría de las aguas (Tabla 2). Los elementos químicos disueltos están presentes como iones los cuales portan cargas positivas o negativas (Rodríguez, 2005). Menos frecuente es la presencia en cantidades significativas de Potasio (K^+), Hierro (Fe^{++} , Fe^{+++}) y Nitrato (NO_3^-) (Arrospide, 2004).

Tabla 2. Principales iones presentes en la mayoría de las aguas de la zona pampeana.

| Carga Positiva (cationes) | Carga Negativa (aniones) |
|-------------------------------|----------------------------------|
| Calcio (Ca^{++}) | Sulfato (SO_4^-) |
| Magnesio (Mg^{++}) | Cloruro (Cl^-) |
| Sodio (Na^+) | Bicarbonato (HCO_3^-) |

El tipo y la cantidad de sales disueltas en el agua también tienen gran relevancia. Éstas pueden interferir con las moléculas de los productos y, como consecuencia, generar una inactivación parcial de las moléculas y/o una menor absorción foliar (Galland & Burzaco, 2016).

Una propiedad importante a tener en cuenta para determinar la calidad del agua para uso con fitosanitarios es el Total de Sólidos Disueltos (TDS) lo cual es expresado corrientemente en partes por millón (ppm) (Puricelli & March, 2014). El TDS puede ser determinado por evaporación de una muestra hasta secado y pesado de los minerales que permanecen o puede ser determinado por medición de la concentración de los seis principales iones y calcularlo por la suma de iones. La determinación del TDS por evaporación es tedioso y no realizada por la mayoría de los laboratorios. El TDS por la suma de iones requiere análisis para todos los principales constituyentes y es por lo tanto caro (Rodríguez, 2005).

Otra forma de medir los minerales disueltos en el agua es a través de la Conductividad Eléctrica (CE) (Arrospide, 2004). El valor de CE es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos, por lo tanto a mayor TSD mayor CE. La CE se expresa en $\mu\text{S}/\text{cm}$, y como regla general aguas con valores menores a $500 \mu\text{S}/\text{cm}$ se consideran adecuadas para aplicaciones fitosanitarias (Galland & Burzaco, 2016).

La CE de las muestras de agua puede ser determinada rápidamente y fácilmente en el laboratorio o en el campo. Debido al hecho de que la EC es dependiente de la temperatura, todas las lecturas son estandarizadas a 25°C (Rodríguez, 2005).

De los iones mencionados en el agua, los que más influyen en el comportamiento de los plaguicidas son el Ca^{2+} y el Mg^{2+} . La Dureza del agua es una medida de la concentración total, en peso, de los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} (Puricelli & March, 2014). Expresados ambos en el

equivalente en mg/l (o partes por millón = ppm) de carbonato de calcio (CaCO₃). A los fines prácticos será:

$$\text{ppm (mg/l) CaCO}_3 = 2,5 \times \text{mg/l Ca} + 4 \times \text{mg/l Mg}$$

La Tabla 3 clasifica el agua en base a su nivel de dureza (Leiva, 2010):

Tabla 3. Clasificación del agua según dureza.

| Dureza como ppm CaCO₃ | Interpretación |
|-----------------------------------------|-----------------------|
| 0 – 75 | Blanda |
| 75 – 150 | Semidura |
| 150 – 300 | Dura |
| >300 | Muy Dura |

Muchos de los herbicidas usados son ácidos débiles y se aplican como sales en formulaciones, como concentrados solubles (SL), polvos solubles (SP) o gránulos solubles (SL), entre otras formulaciones. Estas sales, al ser agregadas al agua para su aplicación se disuelven y la forma aniónica se une con Ca²⁺ y Mg²⁺ del agua produciéndose un antagonismo (Puricelli & March, 2014). Cuando el herbicida se une a un catión puede perder eficacia (Puricelli & Suvirada, 2016).

3. Partículas suspendidas en el agua o Turbidez

Cuando se hace mención al concepto de turbidez, se referencia a la suciedad y color oscuro que se ve en el agua por la presencia de arcillas y restos de materia orgánica que se encuentran en suspensión. Estos materiales se adsorben fuertemente a algunos fitosanitarios, principalmente herbicidas, bajando su disponibilidad en el caldo asperjado (Jalil Maluf, 2015).

El coeficiente de adsorción (K_d) y el coeficiente de adsorción de carbono orgánico (K_{OC}) se usan para describir la fuerza de unión de un producto fitosanitario al suelo. Los herbicidas con altos valores de K_d o K_{OC} se unen más fuertemente a las partículas del suelo (Puricelli & March, 2014).

Dentro de los agroquímicos más usados los que tienen mayor sensibilidad a la turbidez son el Paraquat (muy alto) y el Glifosato (alto); en un punto medio los graminicidas

fop's y dim's, y los demás agroquímicos presentan menor sensibilidad a la turbidez (Gota Protegida & REM, 2018).

El agua establece diferentes relaciones con los fitosanitarios, y según sea esta, determina el tipo de tratamiento a realizar (Tabla 4).

Tabla 4. Relación fitosanitarios – agua y tratamiento recomendado.

| Relación | Tratamiento al agua |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Fitosanitarios que se hidrolizan en aguas alcalinas, estén o no presentes los iones di y trivalentes. Por ejemplo esteres del 2,4-D. Muchos de ellos son ésteres y estos se hidrolizan dando como productos alcohol y el ácido respectivamente que le habían dado origen, ambos no activos.</p> | <p>Es necesario que el agua de aplicación tenga un pH igual o menor que 7, antes de agregar el o los fitosanitarios.</p> |
| <p>Fitosanitarios que no se hidrolizan en medio alcalino, pero precipitan con los iones di y trivalente, especialmente con el Calcio. Por ejemplo sal dimetilamina del 2,4-D.</p> | <p>Es necesario eliminar estos cationes del agua mediante el agregado de productos que forman complejos con ellos. Estos deben agregarse antes del agregado del fitosanitario.</p> |
| <p>Fitosanitarios que forman complejos con los cationes divalentes, disminuyendo su efectividad ya que los derivados de estos herbicidas con los iones di y trivalentes tienen mayor dificultad en penetrar en las plantas. Por ejemplo Glifosato.</p> | <p>Lo que corresponde es acomplejar esos cationes. Productos acomplejantes deben agregarse antes del fitosanitario.</p> |

Objetivos Generales

Analizar las variables de calidad del agua utilizada en pulverizaciones agrícolas en el área rural circundante a las ciudades de Oncativo y Colonia Almada. Determinar posibles consecuencias en la eficiencia de control de los productos herbicidas.

Objetivos Específicos

- Evaluar cuál es el grado de conocimiento del efecto que tiene el agua sobre la eficiencia de las pulverizaciones, en la zona de estudio.
- Conocer qué manejo se realiza del agua al momento de pulverizar.
- Medir y clasificar las variables que definen la calidad de agua, a partir de las muestras obtenidas en la zona de estudio.
- Estimar los efectos que se producirían sobre los principales herbicidas utilizados en la zona de estudio.
- Encontrar relaciones entre las variables de calidad del agua analizadas.

Materiales y Métodos

Zona de Estudio

La zona de estudio se encuentra a aproximadamente unos 90 km de la ciudad de Córdoba (Figura 1), y abarca el área rural circundante a las ciudades de Oncativo y Colonia Almada, pertenecientes a los departamentos de Río Segundo y Tercero Arriba, respectivamente. Dentro de esta área se seleccionaron 21 establecimientos productivos (sitios) donde se realizó el muestreo.

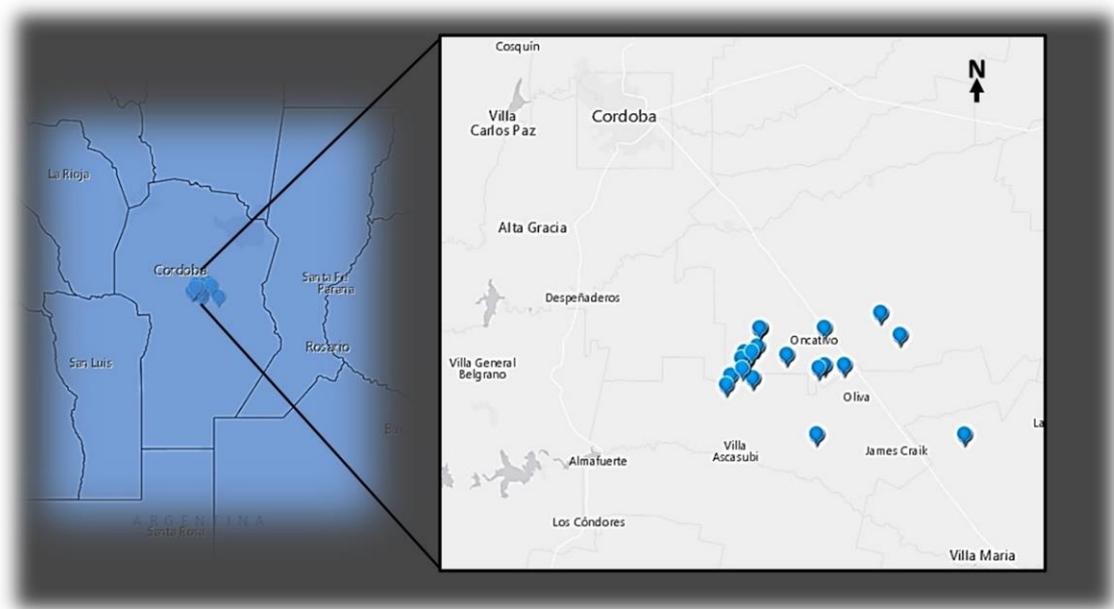


Figura 1. Ubicación puntos de muestreo

El relieve corresponde parte a la Pampa loéssica Alta y también a la Pampa loéssica Plana que es la llanura central cordobesa. La primera va desde 600 m hasta 200 m.s.n.m., con pendientes entre 2 y 3 por mil de gradiente (Ghida Daza & Sánchez, 2009). El clima se caracteriza por tener una temperatura media anual de 16 °C, una amplitud térmica de 14 °C y un período libre de heladas de 265 días. La pluviometría regional posee una distribución con un rango de 800 mm al Oeste y 850 mm al Este con una distribución estacional de tipo monzónico. El período lluvioso se extiende de octubre a marzo (580 mm), el cual representa el 80% de las precipitaciones anuales (Ghida Daza & Sánchez, 2009).

Basándonos en el libro “Aguas subterráneas de la provincia de Córdoba” (Blarasin, Cabrera, & Matteoda, 2014) es posible establecer valores de las diferentes variables de clasificación en la zona de estudio. Para la conductividad eléctrica van desde 1000 hasta 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, los de bicarbonatos desde valores menores a los 200 hasta los 400 mg/L. El pH varía entre 7 y 8 y las ppm de CaCO_3 para la dureza dentro de un rango de las 200 a las 580. Profundidades del nivel estático (representando profundidad de extracción) entre los 10 y 30 metros.

Recolección de información

La generación de información se logró de 21 sitios diferentes. En cada uno de estos, además de obtener la muestra de agua, se realizó una encuesta a los propietarios.

1. Encuestas

La encuesta buscó indagar si el productor conoce sobre el efecto del factor agua en las pulverizaciones (conocimiento del problema), las medidas que toma al respecto, los herbicidas que más utilizan, cual es el origen de la extracción de agua (tanque-bomba), y la cantidad de litros por hectárea utilizados para las aplicaciones.

2. Muestreo de agua

La recolección del agua se realizó en el mes de febrero de 2018, esperando 10 días luego de la última precipitación, para evitar adulteraciones de los valores por el efecto dilución. Para la obtención de muestras de agua se adaptó el Protocolo de Muestreo, Transporte y Conservación de Muestras de Agua con Fines Múltiples del INTA (Basán Nickisch et al., 2011). Las consideraciones generales para el muestreo son:

- El envase debe ser de plástico o vidrio, con buen cierre.
- Solamente reutilizar envases de agua mineral o envases de gaseosa muy bien lavados.
- Envases solo enjuagados con agua. Previo a la toma de la muestra, se enjuaga por lo menos 3 veces con el agua a muestrear.
- Se recomienda una cantidad de 1 L para la realización de los análisis físico-químicos completos. Debido a la poca necesidad de volumen de agua para las determinaciones de nuestro interés se recolectaron 0,5 L por muestra.
- Rotulado de envases con código o nombre de muestra.
- Posicionamiento satelital de la ubicación de muestreo.
- Recabar información de la muestra:

- Nombre o código de muestra.
- Georreferenciación del punto.
- Tipo de Fuente (tanque o bomba).
- Información propietario.
- Fecha y Hora.
- Persona que realizó el muestreo.
- Observación de importancia.
- Recoger la muestra sin dejar cámara de aire y asegurar un cierre hermético.
- Guardar muestras en un lugar fresco.

Determinaciones en laboratorio

En cada muestra de agua se determinó pH por la técnica del electrodo de vidrio, con tres repeticiones por muestra, al igual que la Conductividad eléctrica (Walton & Reyes, 1983). La determinación de la alcalinidad total se realizó por titulación de carbonatos y bicarbonatos (Kolthoff, Bruckenstein, Meehan, & Sandell, 1979) y la dureza total por quelatometría con EDTA (Brown & Sallee, 1977).

Para la determinación de dureza total a 10 ml de agua se adiciona 1 ml de buffer pH 10 y una pizca del indicador negro de eriocromo (2% en ClNa) y se titula con EDTA 0.02 N hasta viraje de color, de rojo vino al azul (Figura 2). Se calculó la dureza total como:

$$ppm CaCO_3 = \frac{\text{Volumen EDTA} * \text{Mol EDTA}}{\text{Volumen Muestra}} \times 100091$$



Figura 2. Viraje de color en la titulación de Dureza, con el rojo vino a la izquierda y azul a la derecha.

En la determinación de Alcalinidad se utilizaron 25 ml de agua a las que se les adicionó fenolftaleína y se tituló con H_2SO_4 (0,02 N) hasta cambio de color de rojo a transparente (alcalinidad por carbonatos). Luego se adicionó naranja de metilo y se tituló nuevamente hasta viraje de amarillo a rosa (Figura 3) (alcalinidad por bicarbonatos). Se suman ambas mediciones para obtener la alcalinidad total por carbonatos y bicarbonatos presentes en la muestra. El cálculo es el siguiente:

$$\text{Alcalinidad total (mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}) = \frac{\mathbf{T * N * 50\ 000}}{\mathbf{ml \ de \ muestra \ utilizada}}$$

Donde:

*T = Volumen Total de H_2SO_4 gastado en la Titulación.

*N = Normalidad del H_2SO_4 .



Figura 3. Foto del viraje de color en la titulación de Alcalinidad, color inicial (amarillo) a la derecha y color final (rosa) a la izquierda.

Análisis estadístico

En primer lugar se caracterizó el conocimiento y las medidas ante la problemática, además del manejo sanitario, mediante gráficos de frecuencias, producto de la información recolectada en encuestas.

Por otro lado, en la caracterización del agua se realizó una prueba T para dos muestras, para testear la influencia del **origen del agua** en el pH y la dureza. Origen del agua hace referencia, por un lado a la proveniente del bombeo directo del nivel freático (Bomba), y por otro lado, a la utilizada del tanque australiano, que si bien fue bombeada, estuvo expuesta a distintos factores durante el periodo de almacenamiento (Tanque). Se utilizó un nivel de significación del 95%. Para cuantificar las relaciones entre las variables de calidad de agua medidas se utilizó la correlación de Pearson. Se utilizaron clasificaciones extraídas de la bibliografía para generar categorías de aptitud de las aguas sobre las variables **dureza**, **pH-conductividad** y **alcalinidad total** (Leiva, 2010; Arrospide, 2004; Espinoza Paz & Rodriguez, 2016; respectivamente), resumidas en Tabla 5.

Tabla 5. Categorización de cada una de las variables en base a bibliografía.

| Variable | Valor cuantitativo | Clasificación |
|--------------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| Dureza (Leiva,2012) | 0 – 75 ppm CaCO₃ | Blanda |
| | 75 – 150 ppm CaCO₃ | Semidura |
| | 150 – 300 ppm CaCO₃ | Dura |
| | >300 ppm CaCO₃ | Muy Dura |
| Alcalinidad (Espinoza Paz & Rodriguez, 2016) | <75 ppm CaCO₃ | Baja |
| | 75 – 150 ppm CaCO₃ | Media |
| | >150 ppm CaCO₃ | Alta |
| pH* (Arrospide, 2004) | 3.5 - 6 | A |
| | 6.1 – 7 | B |
| | >7 | C |
| CE (Arrospide, 2004) | <500 μS/cm | Adecuada |
| | ≥ 500 μS/cm | No Adecuada |

*pH **A** se considera satisfactorio para la mayoría de las aplicaciones, excepto en productos sensibles a la acidez. El agua **B** puede utilizarse siempre que no se tenga el producto en el tanque por más de una hora. Aguas **C** es aconsejable agregar un buffer o un acidificante.

Se utilizó un análisis de componentes principales (ACP) para observar las relaciones entre las variables de calidad de agua, entre muestras de agua y entre las variables de calidad y las muestras de agua. Para agrupar las aguas se complementó el análisis visual del ACP con un análisis de conglomerados no jerárquico tipo k-means, donde el número de grupos óptimo se escogió de manera visual a partir de la observación del gráfico de heterogeneidad dentro del grupo en función del número de conglomerados. Todos los análisis se realizaron utilizando el software Infostat (Di Rienzo et al., 2011).

Resultados y discusión

Conocimiento y Control de Problemática.

A partir de las encuestas se determinó que el 90% de los productores tienen conocimiento del efecto que tiene el agua como medio de pulverización sobre los fitosanitarios pero solo el 38% toma medidas, considerando a estas desde el análisis de agua para conocer la situación, hasta el tratamiento de la misma (Figura 4).

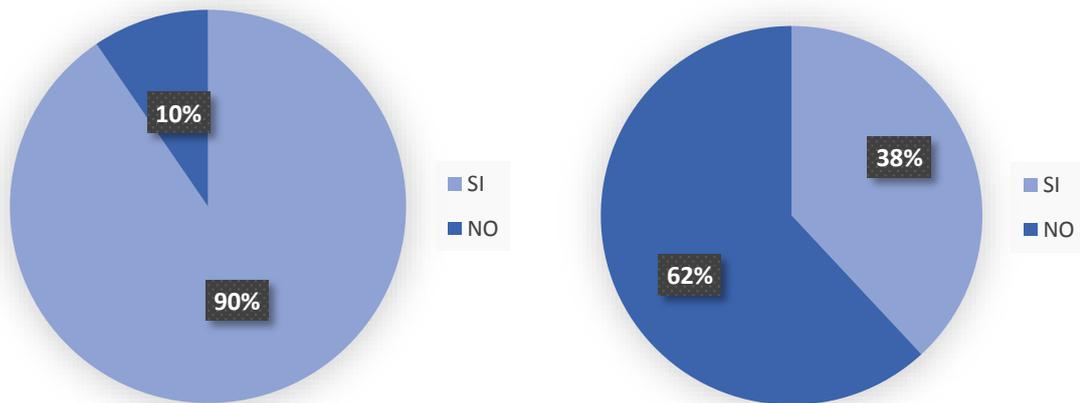


Figura 4. Conocimiento de la problemática (Izquierda). Medidas ante el problema (Derecha).

Manejo

La práctica de tratamiento químico para control de malezas se caracteriza por utilizar en promedio 80 lts/ha de agua. La mayor frecuencia, por encima del 60% la representa el rango de 60-90 lts/ha, seguido por el rango de 91-120 lts/ha con un 24% y por último el rango de 30-60 lts/ha con el 10% (Figura 5). Analizando la frecuencia de utilización de los diferentes herbicidas, los productos más elegidos son el Glifosato con presencia en el 100% de los casos, seguido por el Cletodim y por último 2,4 D. (Figura 5).

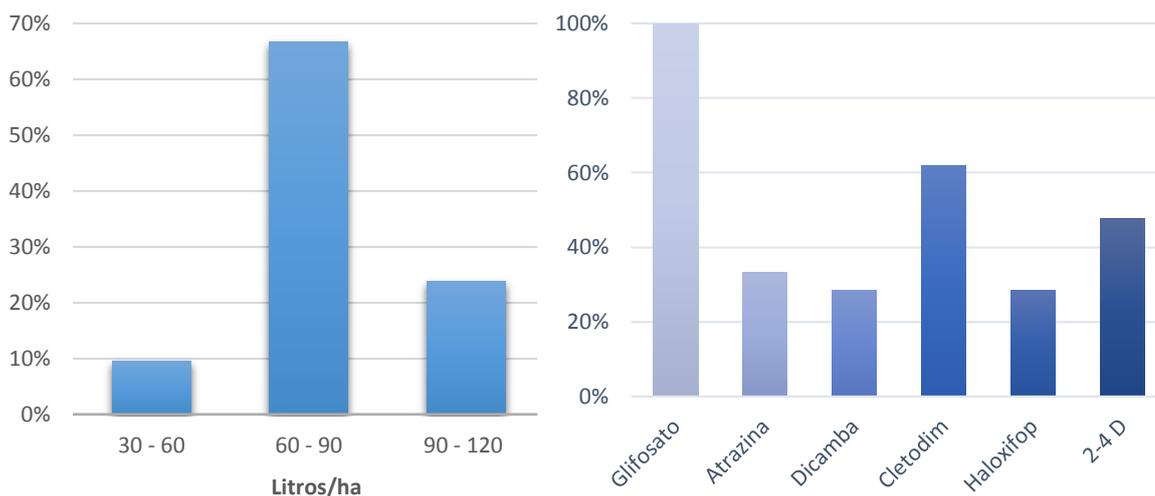


Figura 5. Frecuencia litros usados por hectárea (Izquierda). Frecuencia herbicidas utilizados (Derecha).

El origen del agua principalmente es del bombeo directo hacia la superficie (62%) y el resto del agua acumulada en tanques australianos (38%) (Figura 6).

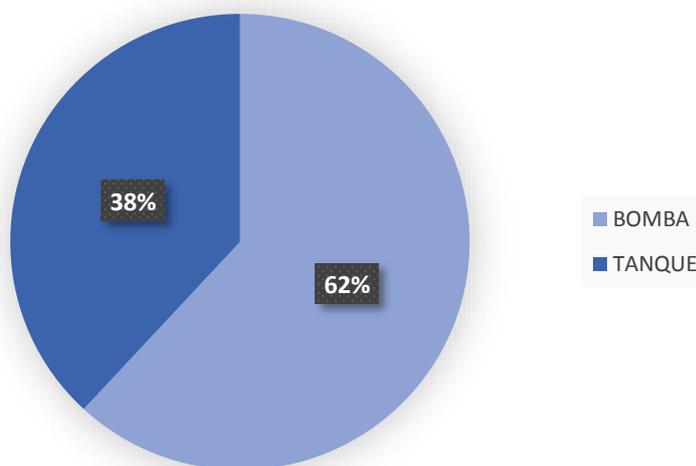


Figura 6. Fuente para suministro de pulverizadora.

El resultado promedio de la profundidad de extracción fue de 13 metros, con valores que van desde los 3 a los 32 metros.

Determinación de las características del agua.

Los resultados medios de las variables obtenidos en el laboratorio se presentan en la Tabla 6, los cuales se encuentran dentro de los rangos descriptos en el estudio de zona. Es importante remarcar que la variable con menos variación es el pH con un coeficiente de

variación (CV) del 5%, mientras que la más heterogénea fue la dureza (53% CV). Los resultados medios de cada una de las muestras con sus correspondientes errores experimentales se encuentran detallados en Anexo (Anexo - Tabla I).

Tabla 6. Medidas resumen para las variables de calidad de agua.

| Variable (unidades) | Media | D.E. | CV | Mín. | Máx. |
|----------------------------------------|-------|------|----|------|------|
| C.E. ($\mu\text{S/cm}$) | 2668 | 964 | 36 | 1259 | 4693 |
| pH | 7,34 | 0,34 | 5 | 6,44 | 8,04 |
| Dureza (ppm de CaCO_3) | 377 | 198 | 53 | 95 | 754 |
| Alcalinidad (mg/l de CaCO_3) | 257 | 106 | 41 | 85 | 489 |

pH – Acidez / Alcalinidad

Los valores de pH presentaron un valor promedio de 7.3 y variaron entre 6.5 y 8. El 86% de las muestras pertenecen a la categoría “C” las cuales es aconsejable agregar un buffer o acidificante. El resto solo pertenece a la categoría “B” que puede usarse siempre que no se tenga el producto en el tanque por más de una hora. No se encontraron muestras clasificadas como A que son satisfactorias para la mayoría de las aplicaciones, salvo para los productos sensibles a la acidez. (Figura 7).

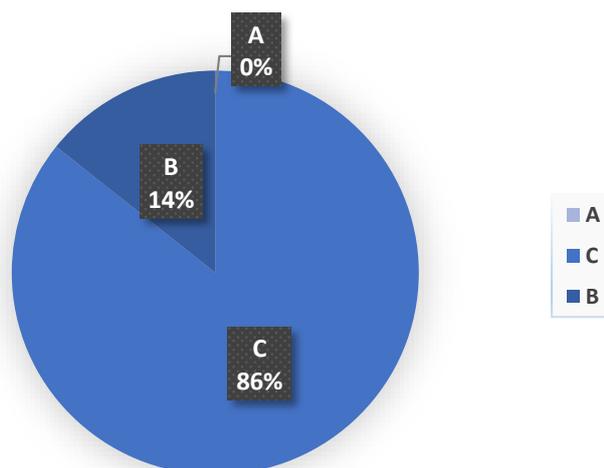


Figura 7. Frecuencia de los rangos de pH encontrados en la zona de estudio.

No se encontraron diferencias significativas entre los valores de pH obtenidos en las muestras según su fuente de origen (Tabla 7). Esto implica que se puede extraer agua tanto de un tanque o directa del pozo, y no obtener resultados significativamente diferentes en cuanto a pH.

Tabla 7. Resultado Prueba T entre medias de pH según fuente de origen.

| Tipo de Fuente | Medias (pH) | p-valor |
|----------------|-------------|-------------|
| Tanque | 7,26 | 0,43 |
| Bomba | 7,39 | |

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$)

Alcalinidad

Se encontró una media de 257 mg/l de CaCO_3 , con valores que van desde 85 a 489. Se aprecia que un 81% de las muestras poseen alta alcalinidad, mientras que el 19% restante un rango medio (Figura 8). Esto ubica a la gran mayoría de las muestras con gran potencial para producir hidrólisis rápidamente, por lo tanto, el caldo al inicio de la pulverización puede ser más eficaz que al terminar la aplicación.

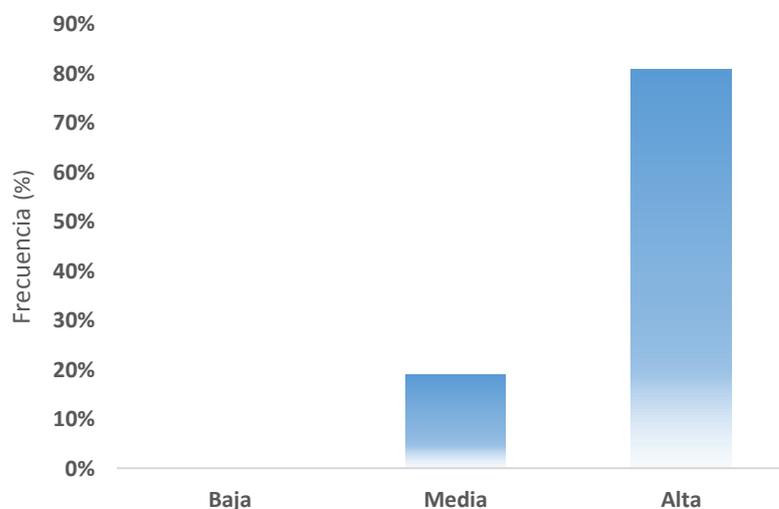


Figura 8. Frecuencia de los 3 rangos de Alcalinidad en las muestras de agua. Alcalinidad ($\text{mg L}^{-1} \text{CaCO}_3$)
Baja < 75; Media 75 – 150, Alta > 150.

Conductividad Eléctrica

El 100% de las muestras tomadas posee valores ampliamente superiores al valor máximo aceptable ($500 \mu\text{S/cm}$), con un valor medio de $2668 \mu\text{S/cm}$, no considerándose adecuadas para aplicaciones y es necesario, analizar más en detalle la composición de los sólidos presentes.

Dureza

Los valores de dureza presentaron una media de 377 ppm y variaron entre 97 y 742 ppm de CaCO₃. Con la clasificación utilizada (Leiva, 2010) se destaca la presencia de aguas categoría Muy Dura, con 52% de las muestras con valores superiores a las 300 ppm. Es seguido por agua Dura representando el 38% de las muestras. El restante 10% solo pertenece a agua con dureza Media. No se encontraron aguas Blandas (Figura 9).

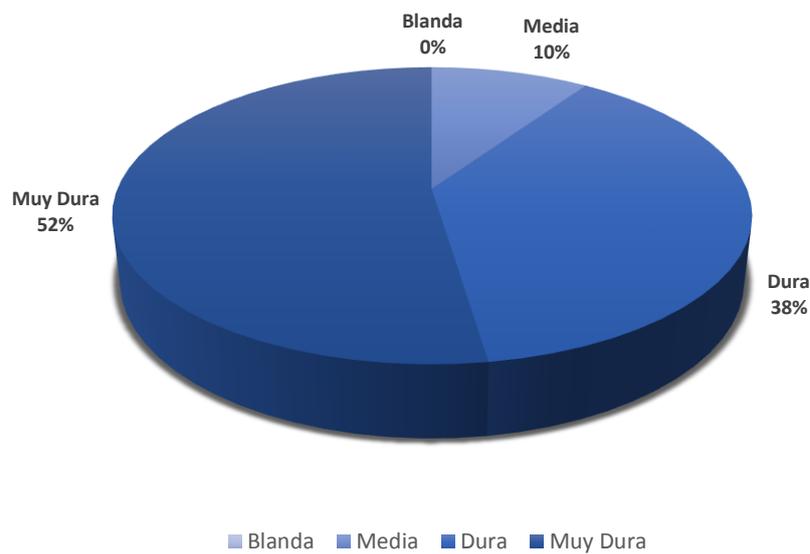


Figura 9. Frecuencia de los diferentes rangos de Dureza. Rangos de dureza (ppm CaCO₃): Blanda 0 – 75 ppm; Media 75-150 ppm; Dura 150-300 ppm; Muy Dura >300 ppm.

No se encontraron diferencias significativas entre las medias según su fuente de origen, expresado en el p-valor superior a 0,05 (Tabla 8).

Tabla 8. Resultado Prueba T entre medias de Dureza según fuente de origen.

| Tipo de Fuente | Medias (ppm CaCO ₃) | p-valor |
|----------------|---------------------------------|-------------|
| Tanque | 310 | 0.24 |
| Bomba | 417 | |

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$)

A modo de resumen se expresa un cuadro comparativo del promedio de todas las variables analizadas categorizándolas en base a las clasificaciones descritas anteriormente (Tabla 9). En anexo se expresa un cuadro comparativo pero analizando cada muestra en particular (Anexo -Tabla II).

Tabla 9. Categorización valores promedios de las variables analizadas.

| Variable | Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$ | pH | Dureza ppm CaCO_3 | Alcalinidad mg/l de CaCO_3 |
|----------------------|-------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Promedio | 2668 | 7,34 | 377 | 257 |
| Clasificación | No Adecuada | C | Muy Dura | Alta |

Conductividad: Adecuada < 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$; No Adecuada > 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. **pH.** A (3.5 – 6) Óptimo; B (6.1-7) Puede usarse siempre que no se tenga el producto en el tanque por más de una hora; C (> 7) Tratamiento Necesario. **Dureza.** 0 - 75 ppm CaCO_3 Blanda; 75-150 ppm CaCO_3 Media; 150-300 ppm CaCO_3 Dura; >300 ppm CaCO_3 Muy Dura. **Alcalinidad.** <75 mg/l Baja; 75-150 mg/l Media; >150 mg/l Alta.

Relación herbicidas - agua

pH

Las características de cada uno de los herbicidas más utilizados en la zona, establecen rango de máxima actividad, dándonos fundamentos y pautas para accionar sobre el vehículo de dispersión. En la Tabla 10 se observa que los productos en estudio son estables en un rango de pH 4 – 6, acelerando su hidrólisis con pH superiores, dando como recomendación la acidificación del agua utilizada.

Tabla 10. Comparación entre pH presente y el óptimo de los herbicidas más utilizados.

| Herbicida | pH Óptimo | Promedio pH muestras | Recomendación |
|------------------------|------------------|---------------------------------|----------------------|
| Glifosato | 4 - 5 | 7.34 | Acidificar el agua. |
| 2,4-D sal amina | 5 - 7 | | Acidificar el agua. |
| Cletodim | 6 | | Acidificar el agua. |

Dureza

Particularmente para el herbicida Glifosato, la dureza del agua le produce una fuerte inactivación del principio activo, y por ende reduce los porcentajes de control (Leiva, 2010). El Ca_2^+ y Mg_2^+ se asocian a los grupos carboxilo y fosfonato de la molécula de glifosato, formando compuestos de coordinación constituidos por un átomo central (ion metálico aceptor) ligado a una o más moléculas de glifosato, que actúa como agente donante. El herbicida se absorbe en la planta por vía polar y en presencia de metales forma complejos que son macromoléculas estables, difíciles de absorber y transportar a través de la planta, lo que reduce su eficacia (Puricelli & March, 2014). La siguiente fórmula permite estimar el grado de inactivación de glifosato por los cationes de las aguas duras:

$$\text{Inactivación (\%)} = \frac{\text{Tasa de Aplicación (Q)} \times \text{Dureza del agua} \times 0.00047}{\text{Dosis de Glifosato}}$$

Tasa de aplicación (Q) = Volumen de agua por hectárea.

Dureza del agua = dureza del agua en ppm de CaCO₃.

0.00047 = constante

Dosis de Glifosato = litros o kilogramos como sal MIPA 100% por hectárea (1kg sal = 2lt/ha de Glifosato 48%).

Si consideramos un rango aceptable de 7 a 10 % de inactivación, observamos una disminución en el número de muestras fuera del rango tras el aumento de la dosis del herbicida. Se puede observar la misma tendencia utilizando los valores promedios del agua (Tabla 11) como en el análisis individual de cada muestra (Anexo – Tabla III). Las dosis de Glifosato en tabla están expresadas como sal MIPA 100 % /ha en base a sus equivalentes dosis de tratamiento con Glifosato al 48 %.

Tabla 11. Disminución del % de inactivación del i.a. por aumento de la dosis.

| Dureza Promedio | Lts Agua / ha Promedio | Dosis Glifosato | Porcentaje de producto Inactivado |
|-----------------|------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| 377 ppm | 80 | 1.0 kg | 14.07 % |
| | | 1.5 kg | 9.38 % |
| | | 2.0 kg | 7.04 % |
| | | 2.5 kg | 5.63 % |

También es posible observar el efecto en la inactivación al variar el volumen de agua por hectárea utilizado (Tabla 12). En base a los resultados de la tabla podemos determinar que para una misma dureza el porcentaje de herbicida inactivado aumenta con el volumen de agua. Esto da la pauta de que a través de una disminución en el volumen de dispersión, se logra reducir el efecto negativo de los cationes en solución.

Tabla 12. Disminución del % de inactivación por uso de menor volumen de agua.

| Dureza | Lts Agua / ha | Dosis Glifosato | % Inactivación |
|---------|---------------|-----------------|----------------|
| 377 ppm | 90 | 1.5 Kg | 11% |
| | 40 | | 5% |

Respecto al herbicida que le sigue en importancia, nos encontramos con que las formulaciones amina de 2,4-D son más sensibles a las aguas duras que los ésteres. Niveles de dureza mayores de 600 ppm pueden reducir la eficacia del 2,4-D aplicado en dosis de 280

g i.a./ha. El efecto de sales sobre la fitotoxicidad del 2,4-D varía con la dosis, el tipo de sales del agua y las especies de malezas (Puricelli & March, 2014).

Dureza vs pH

Los cationes en solución pueden encontrarse por un lado bajo la forma de sulfatos o cloruros, no aportando alcalinidad al agua, la que presenta un pH prácticamente neutro (pH = 7). Por otro lado, cuando se hallan bajo la forma de carbonatos o bicarbonatos, le producen a la misma alcalinidad (pH > 7). Por lo tanto, lo más correcto es interpretar la dureza (concentración de Ca_2^+ y Mg_2^+) y el pH como dos variables individuales, a la hora de decidir el tratamiento necesario para la corrección del vehículo de dispersión, ya que podemos tener por ejemplo dos aguas, una con un valor de pH cercano al neutro y alta dureza y otra con un mayor valor de pH y menor dureza (poco Ca_2^+ y Mg_2^+ y alto Na^+ y K^+).

Elementos en suspensión o Turbidez

Conociendo las propiedades de los productos descriptas por las variables Koc, se puede predecir la sensibilidad del herbicida en condiciones de agua turbia, detallado en Tabla 13.

Tabla 13. Sensibilidad productos ante presencia de agua turbia.

| Herbicida | Koc (mg/l) | Sensibilidad a turbidez |
|------------------|-------------------|--------------------------------|
| Glifosato | 24300 | Alta |
| 2,4 D | 2-100 | Baja |
| Cletodím | 3 - 43 | Baja |

Relación entre variables

Correlaciones.

Las correlaciones más importantes fueron entre la alcalinidad y la profundidad (R 0,67) y entre la dureza y la CE (R 0,71). Se encontró correlaciones negativas entre la dureza y la alcalinidad. (Tabla 14).

Tabla 14. Valores del coeficiente de correlación de Pearson R entre las variables.

| | CE | pH | Dureza | Alcalinidad | Profundidad |
|-------------|-------|-------|--------|-------------|-------------|
| CE | 1 | 0.868 | 0.000 | 0.293 | 0.219 |
| pH | -0.04 | 1 | 0.101 | 0.013 | 0.261 |
| Dureza | 0.71 | -0.38 | 1 | 0.014 | 0.041 |
| Alcalinidad | -0.25 | 0.55 | -0.54 | 1 | 0.001 |
| Profundidad | 0.29 | -0.26 | 0.46 | -0.67 | 1 |

En la triangularidad superior de la matriz de correlación se muestran las significancias y en la inferior los coeficientes.

Al realizar la regresión de la Alcalinidad en relación a la profundidad se observó una asociación negativa entre ellas (Figura 10). Si consideramos que, la fuente mayoritaria de bicarbonato en un agua natural es el proveniente del lavado de rocas calizas que hace que parte del carbonato que contienen pase al agua (Antonio J. Mota Ávila, 2009) y que la disolución es promovida por la presencia de CO₂ disuelto en el agua de origen atmosférico o generado en sedimentos ricos en materia orgánica (Espinoza Paz & Rodriguez, 2016), podríamos deducir que a profundidades de extracción más cercanas a la superficie, el agua experimenta una mayor interacción con la roca caliza al encontrar mayor presencia de CO₂ para favorecer la disolución.

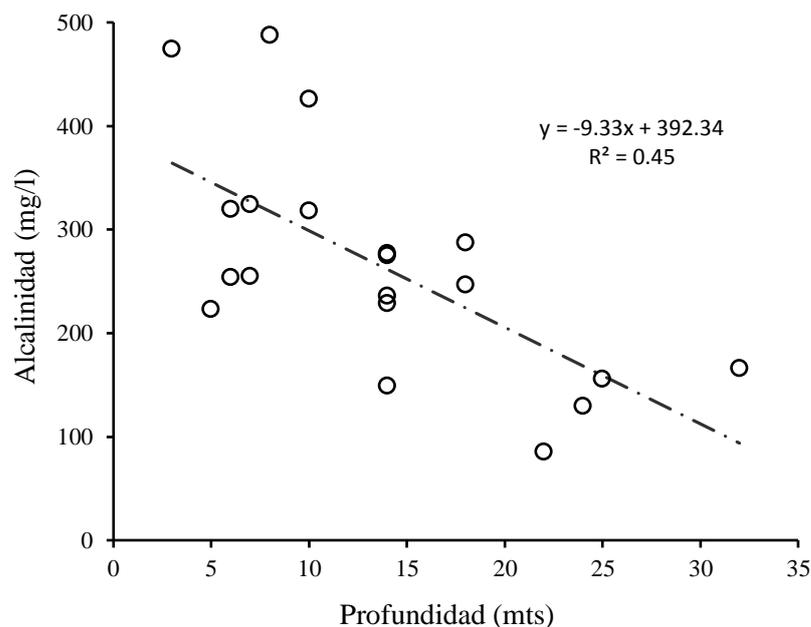


Figura 10. Regresión lineal entre el nivel de Alcalinidad y la profundidad de extracción del agua.

Tipos de agua.

Las relaciones generales (análisis de componentes principales) entre las variables y entre las variables y las muestras de agua recolectadas se observan en el biplot (Figura 11).

Se observan tres grupos de aguas diferentes. Un grupo, caracterizado por aguas de mayor profundidad y dureza, un segundo grupo con gran alcalinidad, alto pH y poca profundidad, y un tercer grupo, con mayor CE y Dureza. Un resultado similar se obtiene al utilizar un análisis de conglomerados para agrupar a las aguas de manera multivariada, donde se observa que el óptimo de grupos es 3 (Figura 12).

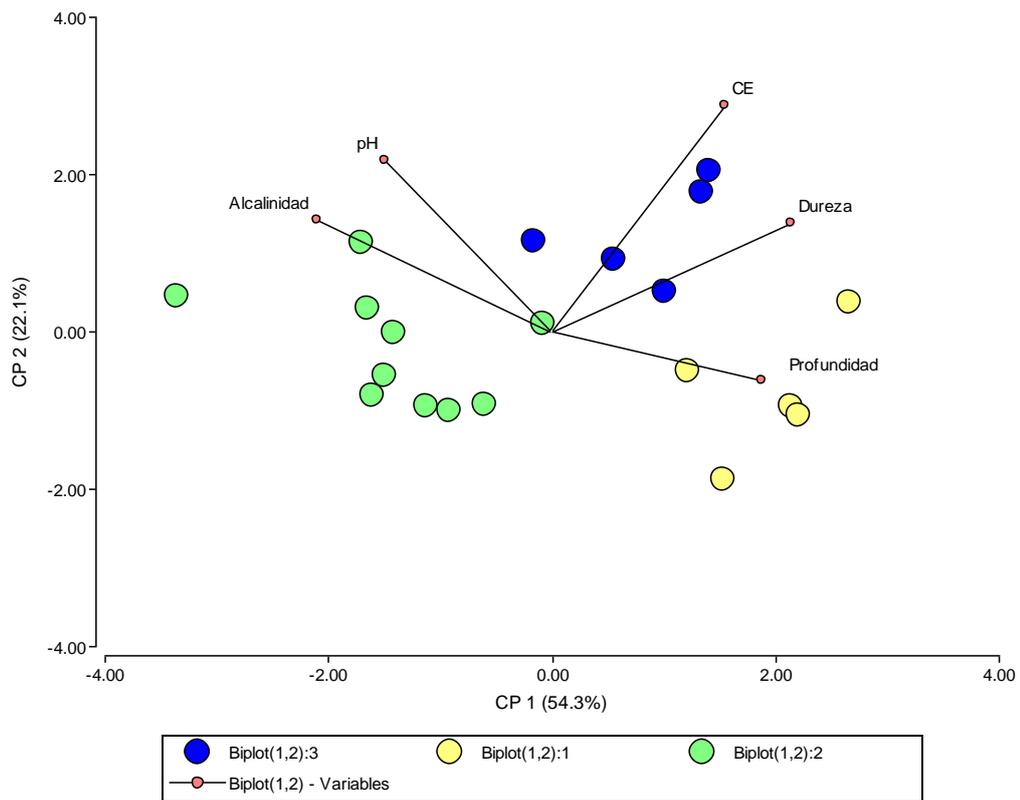


Figura 11. Biplot del Análisis de Componentes Principales. En amarillo aguas de mayor profundidad y dureza, en verde aguas con gran alcalinidad, alto pH y poca profundidad, en azul el grupo con mayor CE y Dureza.

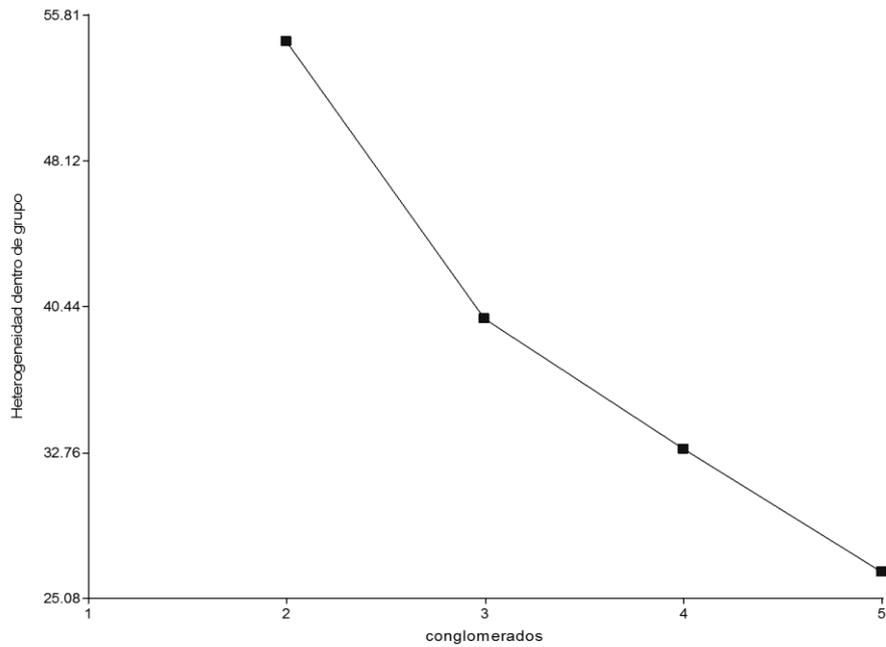


Figura 12. Resultado del análisis de conglomerados, donde se observa la heterogeneidad dentro de los grupos realizados en función del número de conglomerados. En el quiebre o “codo” de la heterogeneidad dentro de grupo respecto al número de conglomerados se puede encontrar el número óptimo de grupos.

Dimensión espacial

Se encontró una tendencia entre la profundidad y la coordenada en X (longitud), de carácter negativo, donde los sitios ubicados más al Este presentaron menores profundidades en la perforación de la que se extrae el agua (Figura 13).

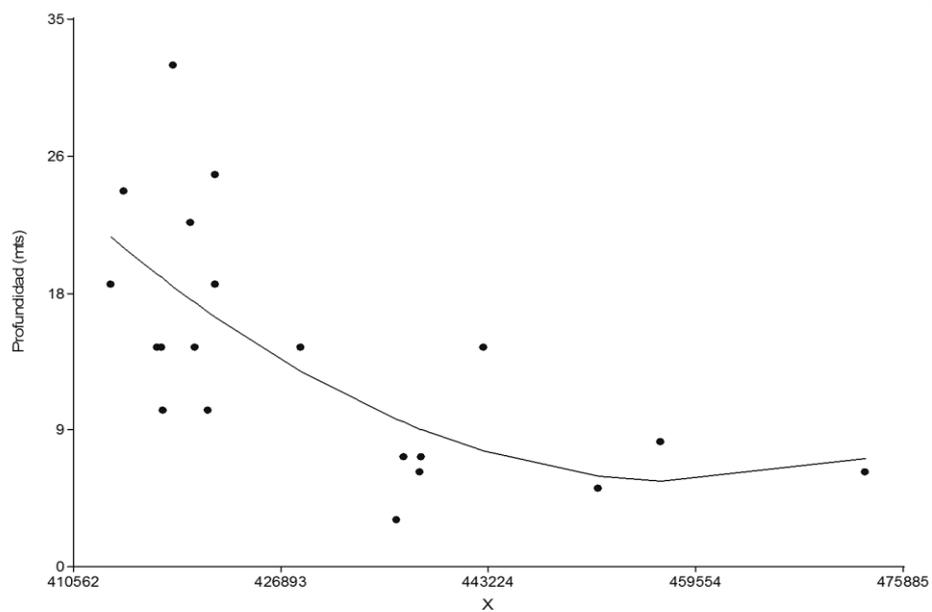


Figura 13. Tendencia de la profundidad ante el aumento de la longitud.

Conclusiones

En base a las encuestas realizadas, en la zona de estudio se tiene conocimiento que el agua como medio de dispersión puede afectar el resultado del control fitosanitario, sin embargo los productores no conocen en detalle o con certeza las variables que lo afectan, de qué manera y en que dimensión cada una. Debido a este escaso conocimiento, en general no se toman medidas para evitar el problema, refiriéndonos desde el análisis de agua hasta el uso de correctores. Por otra parte, Glifosato, Cletodim y 2,4 -D resultaron ser los herbicidas más utilizados.

En base al análisis de las muestras de agua se concluye que todas las aguas estuvieron por fuera de los umbrales óptimos para la aplicación de productos fitosanitarios, lo que indica la necesidad de realizar correcciones previas a la aplicación de productos fitosanitarios en general y en particular para los herbicidas estudiados. Además, los resultados coincidieron con los rangos de valores previamente encontrados por bibliografía.

Por investigación bibliográfica, las relaciones entre agua y fitosanitarios, varía según características físico-químicas del producto y la condición del medio de dispersión, en base a la potencial relación a generar, se define el tratamiento de agua. El uso de agua limpia en primer instancia y de un buen sistema de filtrado, permite evitar subdosificación en glifosato por fuerte afinidad del herbicida a la materia orgánica y arcillas. Además de este se pueden estar dando otros casos de sub y sobredosis, por las demás variables que definen calidad de agua, aportando a la resistencia y selección de las malezas hacia herbicidas. En el caso del herbicida glifosato, cabe destacar la posible corrección de inactivación de principio activo por dureza de agua, con aumentos de dosis o disminución del volumen aplicado por hectárea.

EL análisis de las correlaciones mostro que, la variable pH, tuvo una débil correlación negativa con la variable Dureza, dándonos la pauta de la necesidad de análisis y tratamiento de forma independiente de cada una de estas. Además conocer la profundidad del pozo de agua resultó de particular interés por su asociación negativa con la alcalinidad del agua. Desde el análisis de componentes principales se logró definir 3 grupos de aguas, un grupo, caracterizado por aguas de mayor profundidad y dureza, un segundo grupo con gran alcalinidad, alto pH y poca profundidad, y un tercer grupo, con mayor CE y Dureza.

Dado el bajo uso de correctores y la baja calidad de agua encontrada, es interesante a futuro plantear trabajos que demuestren el efecto y buen uso de correctores de agua

Bibliografía

- Antonio J. Mota Ávila. (2009). Química de los procesos de ácido-base en aguas naturales: el sistema carbonato. In *La química de las aguas naturales* (pp. 19–21). Retrieved from <http://www.uco.es/~iq2sagrl/QIMediambiente/TranspTema6-web.pdf>
- Arrospide, G. (2004). Criterios para el uso de aditivos y coadyuvantes. *Calister SA*, 1–6.
- Blarasin, M., Cabrera, A., & Matteoda, E. (2014). Aguas subterráneas de la provincia de Córdoba. *UniRío. Universidad Nacional de Río Cuarto. Argentina*.
- Brown, G. H., & Sallee, E. M. (1977). *Química cuantitativa*. Reverté.
- Carrasco-Letelier, L., Beretta-Blanco, A., Bassahún, D., García, L., Musselli, R., Oten, R., ... Tellechea, G. (2015). Aptitud de la calidad del agua para uso agropecuario: riego y preparación de pesticidas. *Revista INIA-Nº, 41*, 46.
- Espinoza Paz, T., & Rodriguez, C. (2016). Determination of water quality index (WQI) of Morón river and Patanemo river of Carabobo state in Venezuela.
- Galland, A. A., & Burzaco, L. M. (2016). Calidad del agua para la aplicación de fitosanitarios. *Cultivar Decisiones*.
- Ghida Daza, C., & Sánchez, C. (2009). Zonas Agroeconómicas Homogéneas: Córdoba, área de influencia de la EEA INTA MANFREDI. Manfredi, Córdoba (AR): INTA EEA Manfredi. Cartilla Digital Manfredi No. 3.
- Kolthoff, I. M., Bruckenstein, S., Meehan, E. J., & Sandell, E. B. (1979). *Análisis químico cuantitativo*. Nigar.
- Leiva, P. D. (2010). Consideraciones generales sobre calidad de agua para pulverización agrícola. *INTA. Estación Experimental Agropecuaria Pergamino "Ing. Agr. Walter Kugler"*. Buenos Aires, Argentina.
- Puricelli, E., & March, H. D. (2014). *Formulaciones de Productos Fitosanitarios para Sanidad Vegetal*.
- Puricelli, E., & Suvirada, J. (2016). Herbicidas Aplicados al Follaje. In *Herbicidas Aplicados al Suelo y al Follaje*.
- Rodríguez, N. (2005). Estrategias de intervención de tecnología en la aplicación de herbicidas. *Química Del Agua. INTA EEA Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas"*.
- Walton, H. F., & Reyes, J. (1983). *Análisis químico e instrumental moderno*. Reverté.

Anexo

Tabla I. Promedio y desvío de cada muestra realizado en cada variable analizada.

| Muestra | CE ± EE | pH ± EE | Dureza ± EE | Alcalinidad ± EE |
|---------|-------------|------------|-------------|------------------|
| NM001 | 3719 ± 1.50 | 7.5 ± 0.03 | 412 ± 0.88 | 229 ± 11.0 |
| NM002 | 2569 ± 1.33 | 7.4 ± 0.10 | 409 ± 0.88 | 156 ± 8.0 |
| NM003 | 2995 ± 2.40 | 6.9 ± 0.03 | 473 ± 2.34 | 130 ± 2.0 |
| NM004 | 3500 ± 4.20 | 7.3 ± 0.10 | 137 ± 3.76 | 288 ± 24.5 |
| NM005 | 1621 ± 0.60 | 7.3 ± 0.02 | 275 ± 0.67 | 277 ± 10.0 |
| NM006 | 1267 ± 0.20 | 7.2 ± 0.06 | 263 ± 1.77 | 426 ± 8.0 |
| NM007 | 1652 ± 0.80 | 7.0 ± 0.06 | 441 ± 2.65 | 86 ± 13.5 |
| NM008 | 2246 ± 0.40 | 7.1 ± 0.01 | 643 ± 1.45 | 139 ± 13.0 |
| NM009 | 3665 ± 0.20 | 7.3 ± 0.02 | 626 ± 2.00 | 166 ± 26.0 |
| NM010 | 2250 ± 2.40 | 7.8 ± 0.07 | 154 ± 1.45 | 318 ± 7.5 |
| NM011 | 3111 ± 1.60 | 7.3 ± 0.04 | 602 ± 6.37 | 236 ± 7.5 |
| NM012 | 1731 ± 1.20 | 7.3 ± 0.02 | 180 ± 2.61 | 255 ± 10.5 |
| NM013 | 2257 ± 1.60 | 7.5 ± 0.01 | 202 ± 1.67 | 325 ± 14.0 |
| NM014 | 4676 ± 0.00 | 7.3 ± 0.07 | 742 ± 6.94 | 254 ± 17.0 |
| NM015 | 3122 ± 0.60 | 6.5 ± 0.04 | 572 ± 5.05 | 149 ± 92.5 |
| NM016 | 3013 ± 0.80 | 8.0 ± 0.03 | 388 ± 4.34 | 247 ± 11.5 |
| NM017 | 4391 ± 1.20 | 7.4 ± 0.01 | 655 ± 17.18 | 275 ± 23.0 |
| NM018 | 3108 ± 1.20 | 7.5 ± 0.04 | 240 ± 1.16 | 488 ± 18.0 |
| NM019 | 2043 ± 3.00 | 7.2 ± 0.00 | 159 ± 3.06 | 223 ± 12.0 |
| NM020 | 1610 ± 1.60 | 7.4 ± 0.01 | 233 ± 3.34 | 320 ± 145.5 |
| NM021 | 1486 ± 6.60 | 7.9 ± 0.01 | 97 ± 1.45 | 475 ± 2.5 |

Tabla II. Cuadro comparativo de cada muestra en particular.

| Muestra | Conductividad | pH | Dureza | Alcalinidad Carbonatos |
|---------|---------------|----|----------|------------------------|
| NM 001 | No Adecuada | C | Muy Dura | Alta |
| NM 002 | No Adecuada | C | Muy Dura | Alta |
| NM 003 | No Adecuada | B | Muy Dura | Media |
| NM 004 | No Adecuada | C | Media | Alta |
| NM 005 | No Adecuada | C | Dura | Alta |
| NM 006 | No Adecuada | C | Dura | Alta |
| NM 007 | No Adecuada | B | Muy Dura | Media |
| NM 008 | No Adecuada | C | Muy Dura | Media |
| NM 009 | No Adecuada | C | Muy Dura | Alta |
| NM 010 | No Adecuada | C | Dura | Alta |
| NM 011 | No Adecuada | C | Muy Dura | Alta |
| NM 012 | No Adecuada | C | Dura | Alta |
| NM 013 | No Adecuada | C | Dura | Alta |
| NM 014 | No Adecuada | C | Muy Dura | Alta |
| NM 015 | No Adecuada | B | Muy Dura | Media |
| NM 016 | No Adecuada | C | Muy Dura | Alta |
| NM 017 | No Adecuada | C | Muy Dura | Alta |
| NM 018 | No Adecuada | C | Dura | Alta |
| NM 019 | No Adecuada | C | Dura | Alta |
| NM 020 | No Adecuada | C | Dura | Alta |
| NM 021 | No Adecuada | C | Media | Alta |

Conductividad: Adecuada < 500 μ S/cm; No Adecuada \geq 500 μ S/cm. **pH.** A (3.5 – 6) Óptimo; B (6.1-7) Puede usarse siempre que no se tenga el producto en el tanque por más de una hora; C (> 7) Tratamiento Necesario. **Dureza.** 0 - 75 ppm CaCO₃ Blanda; 75-150 ppm CaCO₃ Media; 150-300 ppm CaCO₃ Dura; >300 ppm CaCO₃.Muy Dura. **Alcalinidad Bicarbonatos.** <75 mg/l Baja; 75-150 mg/l Media; >150 mg/l Alta.

Tabla III. Disminución en el número de muestras fuera del rango tras el aumento de la dosis del herbicida en análisis individual de cada muestra.

| Muestra | Dureza (ppm) | Lt/ha de Agua | % inactivación con diferentes dosis de Glifosato en kg | | | |
|----------------------------------------------------|--------------|---------------|--------------------------------------------------------|-------|-------|------|
| | | | 1 | 1.5 | 2 | 2.5 |
| NM001 | 412.33 | 75 | 14.5% | 9.7% | 7.3% | 5.8% |
| NM002 | 409.33 | 80 | 15.4% | 10.3% | 7.7% | 6.2% |
| NM003 | 473.33 | 80 | 17.8% | 11.9% | 8.9% | 7.1% |
| NM004 | 137.33 | 40 | 2.6% | 1.7% | 1.3% | 1.0% |
| NM005 | 275.33 | 80 | 10.4% | 6.9% | 5.2% | 4.1% |
| NM006 | 263.33 | 80 | 9.9% | 6.6% | 5.0% | 4.0% |
| NM007 | 441.00 | 35 | 7.3% | 4.8% | 3.6% | 2.9% |
| NM008 | 643.33 | 80 | 24.2% | 16.1% | 12.1% | 9.7% |
| NM009 | 626.00 | 80 | 23.5% | 15.7% | 11.8% | 9.4% |
| NM010 | 154.33 | 70 | 5.1% | 3.4% | 2.5% | 2.0% |
| NM011 | 601.67 | 75 | 21.2% | 14.1% | 10.6% | 8.5% |
| NM012 | 180.33 | 80 | 6.8% | 4.5% | 3.4% | 2.7% |
| NM013 | 202.33 | 90 | 8.6% | 5.7% | 4.3% | 3.4% |
| NM014 | 742.33 | 70 | 24.4% | 16.3% | 12.2% | 9.8% |
| NM015 | 572.33 | 70 | 18.8% | 12.6% | 9.4% | 7.5% |
| NM016 | 387.67 | 70 | 12.8% | 8.5% | 6.4% | 5.1% |
| NM017 | 655.33 | 80 | 24.6% | 16.4% | 12.3% | 9.9% |
| NM018 | 240.00 | 75 | 8.5% | 5.6% | 4.2% | 3.4% |
| NM019 | 159.00 | 85 | 6.4% | 4.2% | 3.2% | 2.5% |
| NM020 | 232.67 | 85 | 9.3% | 6.2% | 4.6% | 3.7% |
| NM021 | 97.33 | 85 | 3.9% | 2.6% | 1.9% | 1.6% |
| Muestras fuera del rango aceptable de inactivación | | | 11 | 8 | 5 | 0 |